

Mise au point d'outils portables de spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) pour évaluer la qualité des fourrages à la ferme

Salgado P.¹, Tillard E.¹, Nabeneza S.¹, Bigot C.E.², Barbet-Massin V.², Dutreuil F.², Bonnefois M.³, Dardenne P.⁴ et Lecomte Ph.¹

(1) CIRAD, UMR 112 SELMET, F-97410 Saint-Pierre, La Réunion, France

(2) Association Réunionnaise de Pastoralisme, F-97410 Saint-Pierre, La Réunion, France

(3) SupAgro, F-34000 Montpellier, France

(4) Centre Wallon de Recherches Agronomiques, B-5030 Gembloux, Belgique

RESUME

L'évaluation de la qualité nutritive des ressources fourragères ainsi que leur variation saisonnière sont indispensables pour la gestion raisonnée de l'alimentation des ruminants. L'analyse de la qualité des fourrages est généralement réalisée à l'aide de méthodes conventionnelles (analyses chimiques en laboratoire). Néanmoins, ces méthodes coûteuses en temps, en argent et en matériel ne permettent pas d'évaluer dans un intervalle suffisamment court la qualité des fourrages (Bruno-Soares *et al.*, 1998). La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR), méthode physique basée sur la capacité des composés organiques à absorber le rayonnement infrarouge, permet d'estimer la composition chimique de l'échantillon dans un intervalle de temps beaucoup plus raisonnable. Par ailleurs, elle présente l'avantage d'être une méthode non destructive, multi-composant, sans recours aux solvants et peu onéreuse par rapport aux méthodes analytiques conventionnelles. Depuis les années 90, la méthode développée sur les fourrages a gagné en précision et en fiabilité (Dardenne *et al.*, 1991 ; Aufrère *et al.*, 2006 ; Tran *et al.*, 2010). L'avancée technologique a permis le développement d'appareils SPIR portatifs tels que le LabSpec 5000 (ASD Inc., USA) ou le PhazIR TM (Polychromix, USA). Il devient aujourd'hui possible d'accompagner en temps réel les agriculteurs dans leurs pratiques, afin de pérenniser leur activité de productions végétale et animale. Depuis une dizaine d'années, la SPIR (en version laboratoire à poste fixe ; Foss NIR System 5000 monochromator) est disponible au CIRAD pour la prédiction de la qualité des fourrages produits à la Réunion. L'Association Réunionnaise du Pastoralisme (ARP), associée au CIRAD, mène depuis deux ans un programme de recherche-développement destiné à mettre au point des outils SPIR portatifs pour gérer, en temps réel, les systèmes fourragers des élevages de ruminants. La rapidité d'obtention des résultats, obtenus *in situ* et directement restitués aux éleveurs, ainsi que le faible coût des analyses font de ces appareils portatifs des outils d'aide à la décision particulièrement intéressants pour optimiser la gestion raisonnée des prairies en temps réel et améliorer la qualité de la ration des ruminants. La restitution des résultats en temps réel et *in situ* aux éleveurs a permis une excellente réactivité des professionnels vis-à-vis de la valorisation précise de ses ressources et l'ajustement des compléments de production pour le troupeau (diminution du gaspillage). Ceci contribue de manière directe à mieux maîtriser les coûts de production afin d'être plus compétitifs et en garantissant le maintien des revenus. L'objectif de la présente étude est de développer les étalonnages des appareils portatifs pour estimer directement en exploitation la valeur nutritive des ressources fourragères.

MATERIEL ET METHODES

La SPIR est une méthode d'analyse basée sur le principe d'absorption des rayonnements lumineux dans le domaine proche infrarouge (800 à 2500 nm) par les molécules organiques de l'échantillon. Etant donné que les absorptions sont directement liées à la composition chimique des échantillons, il est possible d'estimer cette dernière (analyse multiparamétrique).

Les appareils SPIR nécessitent au préalable des étapes d'étalonnage et de validation des équations de prédiction avant de pouvoir effectuer des prédictions fiables. L'étalonnage consiste à établir une régression linéaire entre les caractéristiques chimiques des échantillons et l'information spectrale (valeurs de l'absorbance de la lumière à différentes longueurs d'onde). La prédiction consiste à appliquer le modèle à un spectre. L'interprétation des résultats utilise des critères statistiques pour évaluer la qualité d'une équation de régression. La validation de l'étalonnage est jugée par la précision avec laquelle l'équation pourra prédire de nouveaux échantillons. L'étape d'étalonnage nécessite le recueil d'un grand nombre de mesures spectrales sur le terrain, couplées à des analyses chimiques réalisées par des méthodes conventionnelles au laboratoire.

Dans notre étude, environ 100 échantillons de fourrages frais (Chloris, Ray-grass, Pennisetum et Brachiaria) et 50 échantillons de fourrages conservés (sous forme d'ensilage) ont été utilisés pour étalonner et comparer la précision de prédiction des deux appareils SPIR portatifs (LabSpec 5000 et PhazIR). Les échantillons de fourrage sont étalés sur un plateau et 30 prises de spectres sont effectuées pour prendre en compte l'hétérogénéité du prélèvement (tiges, feuilles, etc.). La moyenne des spectres est ensuite utilisée pour évaluer la capacité de prédiction de la composition chimique (protéine, NDF, Cellulose) et la digestibilité de la matière sèche (MS) des échantillons. Les prédictions réalisées par les appareils portatifs sont ensuite comparées à celles réalisées avec l'appareil à poste fixe, et aux résultats des analyses standard réalisées par des méthodes analytiques conventionnelles (méthodes Kjeldahl, van Soest et Weende pour l'azote, NDF et cellulose, respectivement). La méthode « leave-one-out », a été utilisée comme méthode de validation croisée.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les capacités technologiques et opérationnelles des trois appareils SPIR utilisés dans le cadre de cette étude sont présentées dans le Tableau 1. Le spectromètre fixe (FOSS 5000) possède une fenêtre spectrale allant de 1100 à 2498 nm et un pas de lecture de 2 nm. Les spectres sont acquis sur un échantillon broyé et séché placé dans une mini-coupelle ronde de 3 cm de diamètre. Le LabSpec 5000 couvre une plus large bande spectrale (entre 350 et 2498 nm) et un pas de lecture d'1 nm. L'appareil est composé de plusieurs éléments (module de lecture relié à un module de traitement par une fibre optique). Le fonctionnement est géré par un ordinateur portable sur lequel les résultats sont enregistrés. Le PhazIR est un appareil couvrant une bande spectrale de 900 à 1700 nm avec un pas de lecture de 8 nm. Il s'agit d'un petit appareil portatif très maniable, composé d'un unique module. Les résultats sont affichés directement sur l'écran de l'appareil.

Tableau 1 Caractéristiques des appareils SPIR

Type appareil	NIR Systems 5000 (FOSS)	LabSpec 5000 (ASD Inc.)	PhazIR (Polychromix)
Spectre (long. onde ; nm)	1100 – 2498	350 – 2498	900 – 1700
Pas de lecture (nm)	2	1	8
Poids (kg)	18 (poste fixe)	6	2
Alimentation	secteur	secteur/batterie (8h)	batterie (10h)

La capacité de prédiction des appareils portatifs (évaluée par des critères statistiques) est présentée dans les Tableaux 2 et 3 pour les fourrages frais et conservés, respectivement.

Tableau 2 Capacité de prédiction des appareils portatifs sur fourrages frais

Appareil	LabSpec 5000					PhazIR				
	N	Moy	SEC*	R ²	SECV**	N	Moy	SEC*	R ²	SECV**
Protéine	99	14,3	1,12	0,91	1,48	102	14,3	1,82	0,78	2,14
NDF	98	65,0	1,95	0,79	2,33	98	65,1	1,92	0,79	2,25
Cellulose	99	30,2	1,38	0,84	1,66	96	30,1	1,62	0,78	1,91
Digestibilité MS	99	58,8	2,28	0,92	3,05	101	59,0	3,52	0,81	4,07

* SEC : erreur standard de calibration ; ** SECV : erreur standard de validation croisée (précision en %)

Tableau 3 Capacité de prédiction des appareils portatifs sur fourrages conservés (ensilage)

Type	LabSpec 5000					PhazIR				
	N	Moy	SEC*	R ²	SECV**	N	Moy	SEC*	R ²	SECV**
Protéine	49	11,5	1,40	0,87	1,98	43	11,4	1,61	0,82	2,06
NDF	44	66,3	1,96	0,93	3,46	42	66,5	3,38	0,77	4,41
Cellulose	48	31,9	2,23	0,64	3,03	41	31,8	1,87	0,70	2,22
Digestibilité MS	48	46,0	3,83	0,86	5,61	48	46,0	5,05	0,76	6,51

* SEC : erreur standard de calibration ; ** SECV : erreur standard de validation croisée (précision en %)

La capacité de prédiction de la composition chimique et de la digestibilité de la MS des fourrages frais obtenue avec le LabSpec 5000 est supérieure à celle obtenue avec le PhazIR. Deux éléments sont susceptibles d'expliquer cette différence entre appareils : (i) le LabSpec 5000 a un spectre de lecture beaucoup plus large que le PhazIR ; (ii) le LabSpec 5000 a un pas de lecture plus petit que celui du PhazIR. Il y a donc nettement moins d'information contenue dans les spectres PhazIR que dans les spectres du LabSpec 5000. Cependant, en termes d'ergonomie, le PhazIR est nettement supérieur au LabSpec 5000. Le poids très léger de l'appareil, ainsi que l'affichage instantané des résultats de prédiction sur un écran intégré à l'appareil, confèrent au PhazIR une plus grande opérationnalité.

La prédiction donnée par le LabSpec 5000 de la teneur en protéine et de la digestibilité de la MS est particulièrement précise avec des R^2 supérieurs à 0,91. Sur les échantillons d'ensilage, les précisions des deux appareils sont encore à améliorer.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La capacité de prédiction des appareils SPIR portatifs permet d'évaluer de façon suffisamment fiable et en direct sur le terrain la qualité nutritive des fourrages. Ces appareils représentent des outils d'aide à la décision finalisés (simples, opérationnels, adaptés) pour élaborer une démarche d'appui-conseil aux éleveurs concernant l'amélioration de la gestion des ressources fourragères en temps réel. A court terme, la caractérisation *in situ* des fourrages sur pied ou stockés permettra d'appuyer la mise en place d'itinéraires techniques innovants dans la gestion raisonnée des prairies et des stocks fourragers en élevage bovin. Des expérimentations sont actuellement en cours pour tester la capacité de prédiction des outils portatifs vis-à-vis les paramètres de qualité des ensilages (taux d'azote soluble et ammoniacal, acides acétique, lactique, butyrique, pH, etc.).

Ces appareils représentent également une piste intéressante pour la caractérisation des sols (indices de fertilité) et pour l'évaluation de la valeur fertilisante des engrais organiques (lisier, fumier, etc.). La démarche vise à rendre la gestion des ressources naturelles plus précise (connaissance de la variabilité spatio-temporelle des fourrages et de la fertilité des sols), plus économe et écologique (réduction des achats d'intrants comme les fertilisants minéraux et les compléments alimentaires). Cette démarche contribuera ainsi à la mise en place de systèmes d'élevage de précision.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aufrère J., Pelletier P., Brandon G., Hardy A., Andueza D., Dulphy J.P. et Baumont R. 2006. Prévion de la digestibilité in vivo de la matière organique de foin de mélanges prairiaux par différentes méthodes de laboratoire. *Rencontres Recherches Ruminants*, 13.
- Bruno-Soares A.M., Murray I., Paterson R.M. et Abreu J.M.F. 1998. Use of near infrared spectroscopy (NIRS) for the prediction of the chemical composition and nutritional attributes of green crop cereals. *Animal Feed Science and Technology*, 75:15-25.
- Dardenne P., Sinnaeve G., Biston R. et Lecomte P. 1991. Making Light Work: Advances in Near Infrared Spectroscopy Ed. By Murray I. and Cowe I. 4th ICNIRS, Aberdeen, Scotland. VCH, pp. 277 – 283.
- Tran H., Salgado P., Tillard E., Dardenne P., Nguyen Xuan T. et Lecomte P. 2010. "Global" and "local" predictions of dairy diet nutritional quality using near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 93, 4961–4975.